

Bull. Acad. Vét. de France, 1991, 64 (suppl. au n° 4), 37-53

Perspectives offertes à la production animale par l'usage des biotechnologies : les animaux monogastriques

par Aimé AUMAITRE*

RÉSUMÉ

Les animaux monogastriques, porcs, volailles, lapins, occupent une place grandissante pour l'approvisionnement en viande des consommateurs européens, grâce à une constante augmentation de leurs performances, de leur efficacité alimentaire, et du prix de vente des produits de qualité dérivés de leur élevage.

La physiologie de la nutrition permet désormais d'évaluer le rôle digestif (digestibilité iléale) et nutritionnel des polyholosides non amylacés insolubles (PNAI) ou des facteurs antinutritionnels (FANs) apportés par des aliments de plus en plus diversifiés. Grâce à la modélisation, on a exprimé récemment avec précision les besoins des animaux ainsi que la valeur énergétique et azotée des aliments sur la base des données analytiques accumulées en Europe lors des récentes études.

La génétique est un domaine en pleine évolution. La cytogénétique a permis d'identifier des translocations Robertsoniennes (T4/14) responsables d'une baisse de la fertilité chez le porc ; la génétique moléculaire fournira d'ici peu une cartographie génétique à faible résolution, permettant d'identifier des locus à effets importants sur les caractères quantitatifs, grâce à une étude coordonnée en Europe. Ces techniques renforcent le rôle quotidien et indispensable de la génétique quantitative au niveau des populations domestiques.

La nécessité d'effectuer au niveau de l'animal une physiologie intégrée à partir des acquis constants des différentes disciplines de la biologie apparaît plus que jamais impérative en vue de la maîtrise rapprochée de l'économie de l'élevage des animaux de rente, dans le respect des animaux, de l'environnement et du consommateur.

Mots clés : Nutrition – Génétique – Biotechnologie – Porcs – Volailles.

* INRA : Département Elevage des Monogastriques – 35590 Saint-Gilles.

SUMMARY

NEW PERSPECTIVES FOR BIOTECHNOLOGY IN THE AREA OF MONOGASTRIC FARM ANIMALS

Products derived from monogastric animals, pigs, poultry and rabbit production are more and more popular in Europe to supply the demand of consumers for cheap safe and good quality meat. Thanks to research and innovations, these animals are more and more productive and efficient.

Recent data on nutritional physiology provided informations about the digestive (Ileal digestibility) and nutritional role of Insoluble Non Starch Polysaccharides (INSP) and Antinutritional Factors (ANFs) included in exotic imported feedstuffs, such as cereal substitutes. The utilization of mathematical models led to a more and more accurate estimation of the nutritional requirements of animals of different species at different physiological stages, and to the prediction of energy and protein value of feedstuffs, on the basis of numerous data collected throughout analytical experimental approaches.

Genetic is also a field of continuous innovation. Robertsonian translocation (T4/14) responsible for reproductive failure was recently identified in the pig species. Molecular genetic will supply informations on genetic mapping (PiGMap) about loci governing quantitative traits in a study coordinated between 10 European countries. These results will reinforce the role of quantitative genetics applied to farm animals and herds.

Integrative physiology is presently absolutely required on the basis of numerous analytical results supplied by the different disciplines of animal biology for an efficient support and control of a profitable husbandry of monogastric animals, respectful of the animals, the environment and the consumer.

Key words : Nutrition – Genetics – Biotechnology – Pig – Poultry.

I. INTRODUCTION :

L'ÉLEVAGE ET LES RECHERCHES SUR L'ÉLEVAGE EN FRANCE

L'élevage français, qui représente un chiffre d'affaires brut d'environ 25 milliards d'Écus/an, voisin de celui des productions végétales, est caractérisé par une extrême diversité des espèces utilisées : de la caille au bovin. La part des animaux monogastriques dans l'approvisionnement en viande s'affirme de plus en plus (tab. 1), grâce à une montée spectaculaire des volailles dont le tonnage a été augmenté de 36% en 10 ans. Une amélioration de la productivité du troupeau reproducteur porcin d'environ 16% a été également observée au cours des 10 dernières années.

Les élevages présentent des caractéristiques encore plus contrastées ; ainsi 2 500 entreprises spécialisées produisent chacune en moyenne 200 T de

Tableau 1
Place des animaux monogastriques dans la production française de viande.

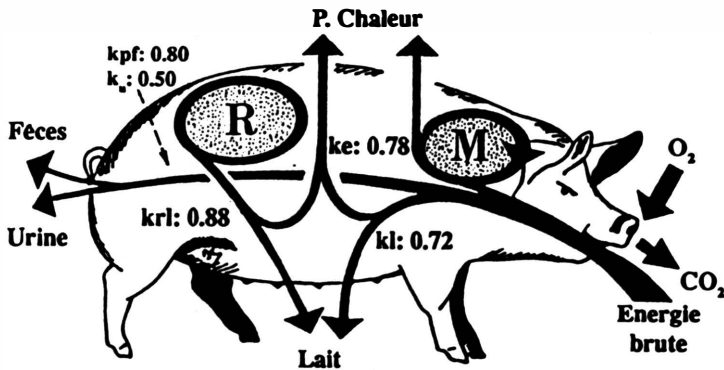
	Production 1990 Millions de T	Pourcentage 1990/1980
Bœuf	2,0	+ 2
Mouton	0,16	- 6
Porc	1,85	+ 16
Volailles ⁽¹⁾	1,5	+ 36
Lapin	0,15	0

⁽¹⁾ 1991 : canard 0,1 MT ; dinde 0,5 MT.

viandes de dinde par an, alors que 200000 élevages ovins produisent 160000 T de viande de mouton seulement !

Les recherches sur l'élevage présentent au contraire une belle continuité dans leurs efforts. On est passé au cours de la période précitée de la manipulation des performances pondérales ou des statistiques annuelles, à l'élaboration de données de synthèse à partir des résultats de la biologie appliquée la plus moderne aux animaux de rente, grâce à la modélisation.

Ainsi, les valeurs des rendements de transformation de l'Energie Métabolisable chez la truie (fig. 1) mesurés en chambre respiratoire ont permis d'estimer avec précision les besoins de gestation et de lactation, et de



R = Réserves ; M = Métabolisme de base ;
kpf = Rendement de transformation de l'EM en réserves protéiques et lipidiques.
ku = dépôt utérin ; ke = entretien ; kl = lait ; krl = transformation des réserves en lait.

Figure 1
Métabolisme énergétique chez la truie

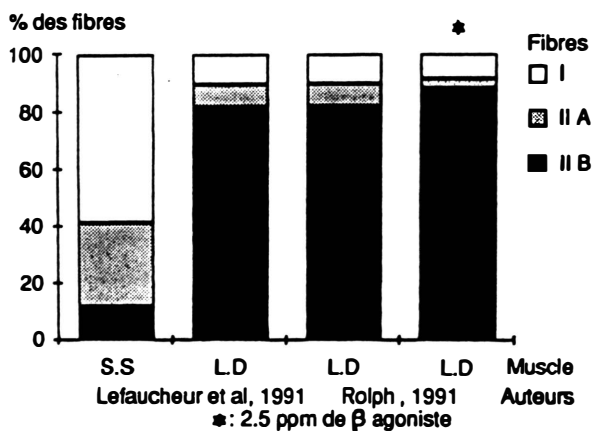
les exprimer plus simplement à partir des paramètres observés sur la mère et sur la portée, mesurables au niveau même de l'exploitation (tab. 2).

Par ailleurs, les recherches poursuivies entre le stade de l'ovule fécondé et l'abattoir conduisent tout naturellement les spécialistes de l'élevage à se préoccuper de l'incidence des diverses techniques appliquées à la mère et à

Tableau 2
Estimation des besoins énergétiques (EM) de la truie
reproductrice par modélisation (Noblet *et al.*, 1985)

Gestation EM = 105 PV ^{0,75} (Kcal/jour)	+ 21,02 poids portée à la naissance + 4 000 gain maternel
Lactation EM = 110 PV ^{0,75}	+ 6,83 gain de portée - 125 n (nombre de porcelets)

l'enfant sur la qualité des produits. De la proportion de muscles et de graisses dans la carcasse, les mesures ont évolué vers la détermination des caractéristiques histochimiques et enzymatiques du muscle au moment de l'abattage, afin de prédire les caractéristiques de la qualité de la viande chez le porc (fig. 2), comme chez les volailles. Ainsi, des variations considérables



L.D. = Longissimus Dorsi ; S.S. = Semi Spinalis.

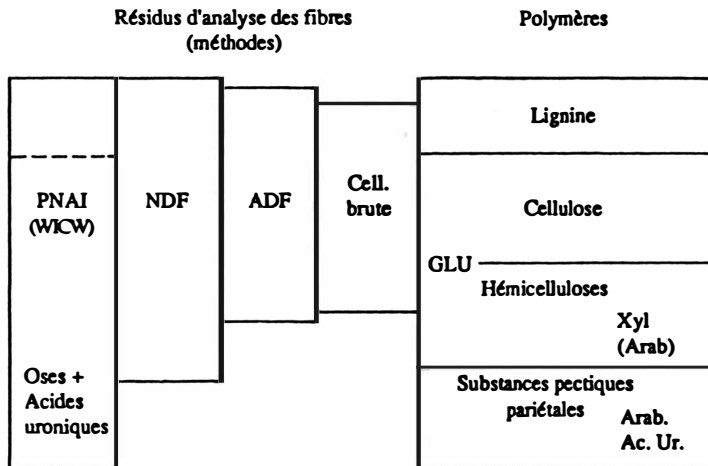
Figure 2
Caractéristiques histochimiques du muscle de porc

de propriétés existent entre muscles d'une même carcasse : les muscles rouges à métabolisme oxydatif comme le *Semi spinalis* ont une forte proportion de fibres de type I et II A, alors que le *Longissimus dorsi* à métabolisme glycolytique a une très forte proportion de fibres II B. Cette proportion de fibres est susceptible d'être modifiée par les paramètres de l'environnement comme la température (LEFAUCHEUR *et al.*, 1991) ou encore par l'emploi de certaines substances préconisées pour manipuler la croissance (ROLPH, 1991), et pourquoi pas par les facteurs nutritionnels ?

II. LA NUTRITION : RÉCENTES ÉVOLUTIONS ET TENDANCES

La nutrition a souvent évolué au rythme de la mise au point des méthodes de détermination des constituants biochimiques des aliments.

Les recherches sur les acides aminés ont conduit à la quasi généralisation de la fabrication industrielle et à la supplémentation des rations en méthionine, lysine et depuis peu en thréonine. Il en sera de même bientôt pour le tryptophane. Mais la généralisation de l'utilisation de produits de substitution des céréales (dont le tonnage d'importation est passé de 4 à 20 millions de tonnes entre 1970 et 1990 dans la CEE) pose de nouveaux problèmes physiologiques aux animaux monogastriques. Leur forte teneur



PNAI = Polysaccharides Non Amylacés Insolubles ; Glu = Glucose
Xyl = Xylose ; Arab = Arabinose.

Figure 3

Types de polymères présents dans les résidus d'analyse
des constituants pariétaux (Carré, 1985)

en polysaccharides non amylacés insolubles pose de nouveaux défis aux nutritionnistes.

2.1 Les Polysaccharides Non Amylacés Insolubles (PNAI)

Leur détermination précise à partir des méthodes physiques, l'identification des oses et des acides uroniques qui les constituent (fig. 3), représentent un progrès considérable par rapport à la notion composite de Cellulose de Weende ou d'Extractil Non Azoté. C'est également un progrès par rapport à la notion de résidus aux détergents neutres et acides classiquement utilisés dans la nutrition des ruminants (NDF et ADF).

Les techniques classiques de digestibilité permettent de mettre en évidence la dégradation des PNAI et de leurs principaux constituants, en particulier dans le gros intestin du porcelet (fig. 4). Les hémicelluloses des céréales incorporées à faible taux (7 % du régime) sont dégradées à 50-58 %, mais les résidus contenant de l'arabinose dans le blé ou du xylose dans l'orge sont les plus faiblement dégradés. La généralisation de la technique de mesure de la digestibilité iléale chez le porc (VERSTEGEN *et al.*, 1991) permet encore de souligner des différences considérables dans l'utilisation des substances pectiques (riches en arabinose) de la pulpe de betterave de l'intestin grêle de l'animal. Les valeurs de dégradation iléale des consti-

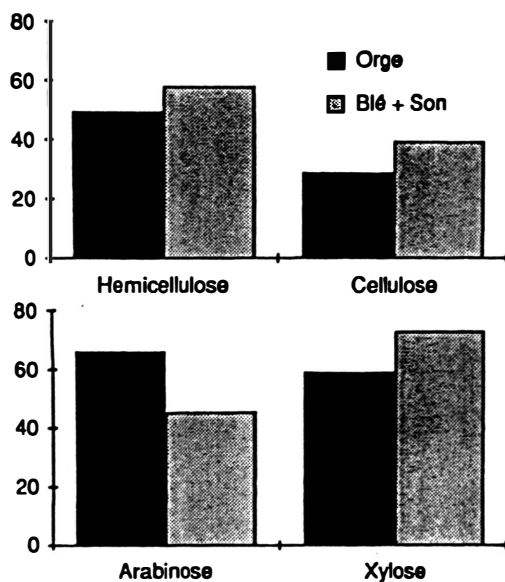


Figure 4

Digestibilité apparente totale comparée des PNA de l'orge et du son de blé chez le porcelet (Bengala Freire *et al.*, 1990)

tuants pariétaux contenant du glucose (cellulose, hémicelluloses, substances pectiques) permettent également d'affirmer leur rôle alimentaire important pour certaines sources végétales seulement (fig. 5).

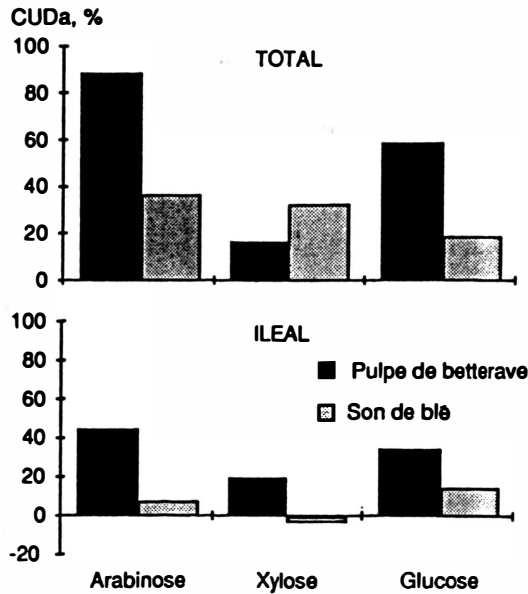


Figure 5

Digestibilité iléale et totale des oses constitutifs des PNAI alimentaires chez le porc (Graham *et al.*, 1986)

L'importance nutritionnelle des PNAI peut encore être soulignée par leur apparition dans les facteurs explicatifs de la teneur en énergie métabolisable (EM). L'utilisation des paramètres de "l'analyse fourragère" classique introduite par l'Ecole de Rostock permet d'approcher, avec une erreur de moins de 3%, la valeur en EM des aliments des volailles. L'incorporation de la notion de PNAI conduit à une erreur de 1% seulement (tab. 3). On se rapproche alors du seuil de signification économique des différences d'indice de consommation énergétique observées chez le poulet de chair!

Ces premières données acquises sur le rôle nutritionnel des PNAI chez les porcs et les volailles sont porteuses d'espoir d'une prochaine exploration de leur rôle physiologique. Le fonctionnement normal, et sans doute pathologique, le transit, la motricité, l'intensité ou le lieu d'absorption peuvent être modifiés par les propriétés physico-chimiques des constituants pariétaux. Le porc, le lapin, le poulet offrent par leur diversité anatomique,

Tableau 3

Signification des polysaccharides non amylacés insolubles (PNAI) pour l'estimation de la teneur en Energie Métabolisable (EM) des aliments des volailles

$$EM_{No} = 37 * PB + 82 * Lh + 40 A + 31 Su \text{ (Mc Nab et Fisher, 1987)} \\ \pm 70 \text{ Kcal/kg}$$

$$EM_{No} = 4000 + 47 * Le - 53 M - 45 PNAI \text{ (Carré et Brillouet, 1989)} \\ \pm 25 \text{ kcal/kg}$$

PB : Protéines brutes ; Lh,e : Lipides après hydrolyse ou extraction ; A : Amidon ; Su : Sucres ; M : Minéraux ; PNAI : Polysaccharides Non Amylacés Insolubles ; No : Corrigé à bilan azoté nul.

par les différents stades physiologiques concernés, des modèles de qualité pour compléter des données encore bien éparées de physiologie digestive observées chez les animaux monogastriques.

Sur le plan zootechnique, la notion de taux optimum de constituants pariétaux dans le régime peut être illustrée par des données concernant le lapin. Cet animal est classiquement considéré comme un herbivore, capable d'utiliser de grandes quantités de fourrages. Mais l'exploitation rationnelle du lapin requiert une augmentation de sa productivité. Ainsi, la réduction du taux de lipides de la carcasse consécutive à l'utilisation des fourrages dans son alimentation est obtenue au prix d'une réduction considérable de l'efficacité alimentaire, et du rendement en carcasse (tab. 4).

Tableau 4

Limites à l'utilisation des fourrages dans l'alimentation du lapin (Ouhayoun, 1989)

Aliment	Concentré	Concentré + Fourrages
Age à l'abattage (j)	91	166
Poids (kg) :		
Carcasse	1,84 ^a	1,66 ^b
Tube digestif	0,55 ^a	0,78 ^b
Composition de la carcasse		
% du poids frais :		
Lipides	17,0 ^a	4,0 ^b
Protéines	18,0 ^a	20,0 ^b

Il reste enfin, sur le plan de la nutrition appliquée, à mettre au point des méthodes de prédiction de la digestibilité *in vivo*, grâce à l'utilisation de méthodes de dégradation *in vitro*, qui ont permis des progrès spectaculaires dans l'alimentation des polygastriques. Les premières données observées grâce à une collaboration internationale (fig. 6) montrent les limites de ces techniques utilisant successivement une incubation en présence de pepsine

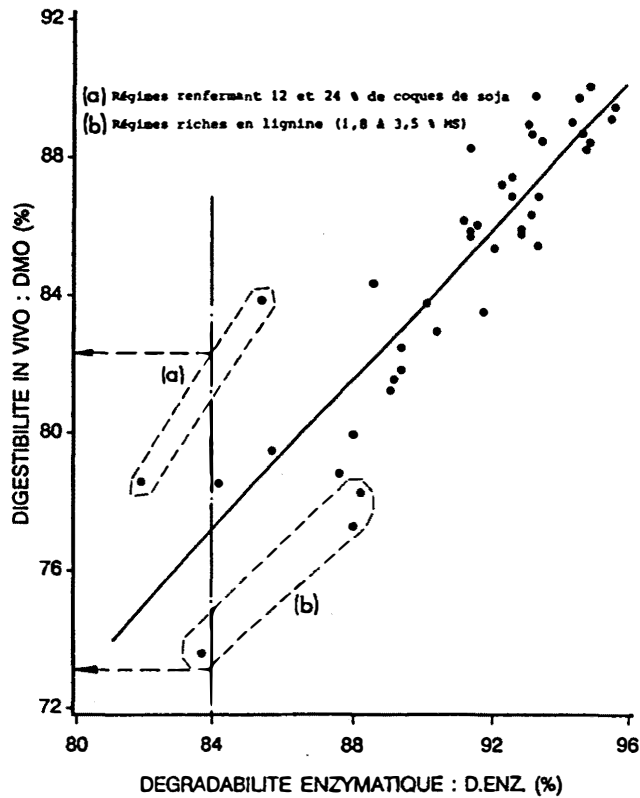


Figure 6

Relation entre la digestibilité in vivo de la matière organique chez le porc et la dégradabilité enzymatique des aliments (Pérez, 1991)

- HCl, de pancréatine/amylase/lipase, suivie d'une cellulase. Pour une même dégradabilité *in vitro* (84%), la digestibilité totale de la matière organique d'un régime riche en pectines est de 83 %, celle d'un régime riche en lignine est de 73 % seulement...

2.2 Réponse physiologique aux facteurs alimentaires et aux facteurs antinutritionnels (FANs).

Les physiologistes et les biochimistes de la nutrition se sont intéressés à la réponse de certaines glandes exocrines comme le pancréas du porc ou du poulet à la présence des lipides, des protéines, de l'amidon dans la ration.

L'augmentation de l'activité ou de la sécrétion de certaines enzymes a été mise en évidence lors de fortes surcharges de ces constituants dans la ration. La réponse croisée de l'activité de l'amylase et de la lipase à une augmentation du taux de lipides alimentaires (fig. 7), constitue une indication et

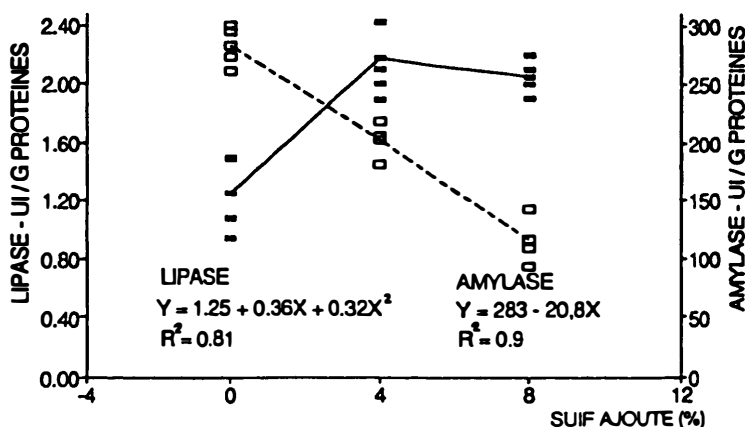


Figure 7

Réponse enzymatique du pancréas à l'addition de quantités croissantes de lipides dans la ration de sevrage du porcelet (Reis de Souza, 1992)

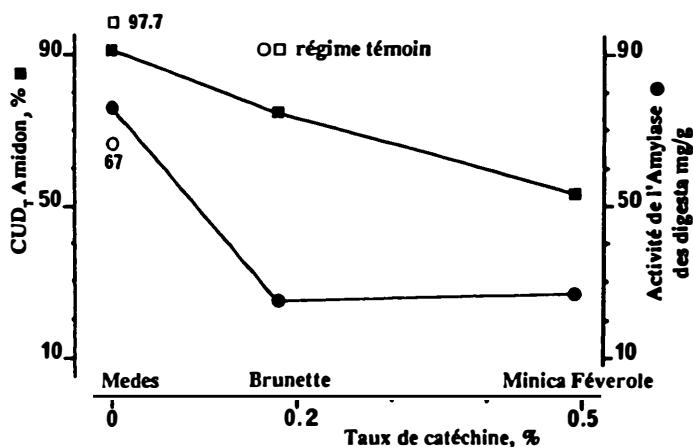


Figure 8

Effet des tanins sur le processus de digestion chez le poulet (Longstaff et Mc Nab, 1991)

même une explication aux réactions digestives de l'animal décrites depuis longtemps. Ces données purement physiologiques conduisent à la recommandation d'une limite à l'addition de lipides dans les rations de sevrage. Par ailleurs, le pancréas du poulet paraît très sensible à la présence de facteurs antinutritionnels comme les tanins de la fève. On observe alors une baisse notable de la sécrétion ou de l'activité de la lipase, de la trypsine, et de l'amylase (fig. 8) qui entraîne une baisse de l'utilisation digestive de tous les composants, notamment de l'amidon. D'autres réactions des animaux monogastriques aux facteurs antinutritionnels, méritent encore d'être rapportées. Une relation linéaire entre le poids frais de la thyroïde et la quantité de glucosinolates ingérés pendant la vie du porc a récemment été mise en évidence (fig. 9). Ces données d'ordre physiopa-

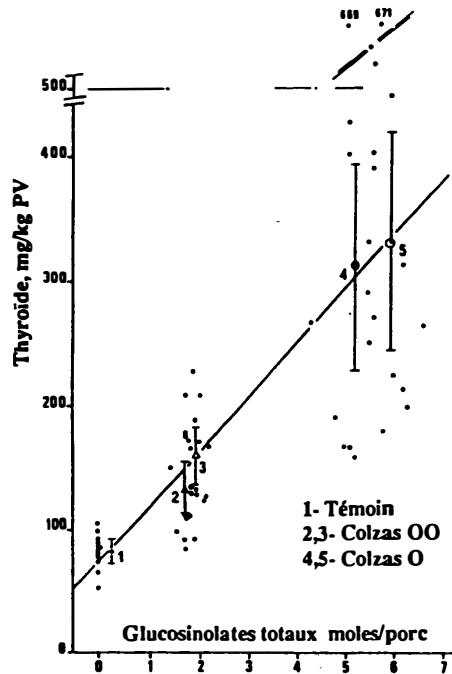


Figure 9
Relation quantité de Glucosinolates ingérés/porc
et poids de la thyroïde
(Bourdon et Aumaitre, 1990)

thologique ont une portée agronomique considérable, en nutrition animale appliquée d'abord, mais aussi dans l'orientation de la sélection végétale, ou dans la mise au point de traitements technologiques visant à réduire le taux de glucosinolates des colzas.

2.3. Une percée timide des enzymes exogènes dans l'alimentation animale

La présence de certains polysaccharides spécifiques dans l'orge (les β glucanes) a été souvent associée à sa faible valeur énergétique pour les volailles comme pour les porcs. L'addition de préparations enzymatiques aux aliments à base d'orge destinés aux volailles a souvent été recommandée pour améliorer la digestibilité des éléments de la ration (JENSEN *et al.*, 1957). Un essai récent de grande envergure réalisé sur 1 440 poulets semble montrer que l'addition de 100 ou 200 mg/kg d'aliment de β glucanase d'origine fongique (*Trichoderma virides*) améliore l'indice de consommation d'une ration contenant 0,4% de β glucanes (25% d'orge) entre la naissance et 19 jours, ou d'une ration en contenant 0,56% (35% d'orge) entre 19 et 45 jours d'âge (fig. 10). Des expérimentations comparables sont effectuées chez le porc et chez le lapin, sans apporter des preuves consistantes d'une efficacité réelle pour les animaux...

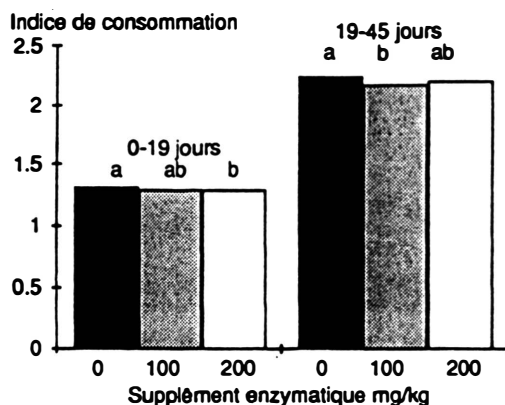


Figure 10

Efficacité de l'addition de β glucanase dans une ration à base d'orge chez le poulet (Brufau *et al.*, 1991)

III. LA GÉNÉTIQUE : UN DOMAINE EN ÉVOLUTION

3.1. La génétique quantitative

Elle a permis des progrès spectaculaires dans les performances des animaux domestiques au cours des 50 dernières années. Chez les herbivores, les progrès génétiques en matière de production laitière des animaux contrôlés se montent à 15% chez la vache, et 22% chez la brebis au cours des seules 10 dernières années. Pendant la même période, des progrès tout aussi spectaculaires et réguliers ont été obtenus en matière de diminution de l'adiposité des porcs et même des poulets (LECLERCQ et

WHITEHEAD, 1988), alors que la sélection sur la prolificité a dû être poursuivie pendant des millénaires chez la truie chinoise! Elle constitue encore un outil précieux et obligatoire, plus indispensable que jamais, en appui à la sélection d'animaux toujours plus performants grâce à l'utilisation des caractères quantitatifs. La production du foie gras et du magret peut être réalisée soit à partir de l'oie dont deux souches sont sélectionnées à la Station d'Artiguères. Des résultats récents confirment l'aptitude de cet oiseau à la production d'un produit de qualité (tab. 5). Toutefois la sélection de canards de Barbarie conduit à un animal de poids corporel voisin de celui de l'Oie. La sélection et la production d'un animal mulard à partir de cane Pékin, réalisée à l'INRA de Toulouse, conduit à une augmentation du poids relatif du foie tout en conservant l'avantage sur le poids des magrets. Il reste toutefois à diminuer le taux de fonte du foie du canard de Barbarie comme du mulard, et la génétique quantitative pourra constituer un bon outil pour atteindre ce but dans les prochaines années...

Tableau 5
Efficacité comparée de trois "espèces" de palmipèdes de la production de foie gras et de magrets. (Rousselot-Pailley et Guy, 1991)

"Espèce"	Oie	Canard	
		(Mulard)	(Barbarie)
Poids vif (kg)			
Début	4,87	4,13	4,47
Fin	7,44	6,40	6,30
Aliment consommé (kg)	11,7	10,7	8,1
Poids de :			
Magrets (g)	702	815	839
Foie (g)	793	702	560
Taux de "fonte" du foie (%)	21,2	43,5	55,6

3.2. La cytogénétique

D'abord mise en œuvre chez les bovins, a révélé des anomalies chromosomiques de structure connues sous le nom de translocation. La translocation "Robertsonienne" 1/29 des bovins, qui affecte par exemple la population bovine limousine, se retrouve en 4/14 chez le porc où elle provoque des effets néfastes sur la fertilité des truies, peut être encore plus accentués que chez les bovins. Les travaux de cytogénétique classique (POPESCU *et al.*, 1988) permettent d'éradiquer l'anomalie chez les verrats des centres d'insémination. Les résultats techniques et financiers de l'introduction d'un verrot porteur de l'anomalie ont pu être récemment estimés. Le revenu d'un élevage de 42 truies peut être réduit à zéro au bout d'un an d'utilisation d'un seul verrot porteur de l'anomalie (fig. 11)!

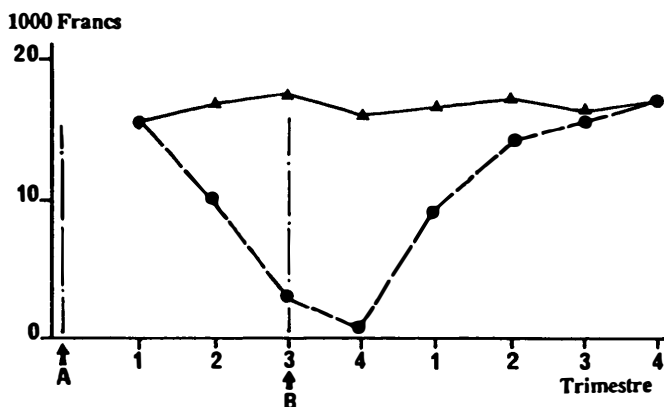


Figure 11

Evolution du revenu d'un éleveur de 42 truies utilisant un verrat porteur d'une anomalie chromosomique
A; B : arrivée et élimination du verrat
(Popescu, 1984)

3.3. La carte génétique du porc = La génétique moléculaire

Les outils développés pour explorer l'hérédité de l'homme sont désormais utilisés pour cartographier celle des animaux domestiques (GELLIN et GROSCLAUDE, 1991). Un projet européen, soutenu par la CEE, rassemble les efforts de la France (F), de la Belgique (B), de l'Allemagne (D), de la Grande-Bretagne (GB), des Pays-Bas (NL), du Danemark (Dk), de la Suède (S) et de la Norvège (N). Il a été mis en place en 1991 pour réaliser la carte génétique du Porc : c'est le projet "PiGMaP". Son but est de localiser sur les chromosomes des gènes marqueurs en vue d'étudier leurs associations avec des caractères d'intérêt économique (OLLIVIER *et al.*, 1991). En dehors des gènes de coloration qui correspondent à 3 locus informatifs, les marqueurs étudiés concernent (fig. 12) :

- Les marqueurs sérologiques et biochimiques (F, B, D) ; le complexe majeur d'histocompatibilité (CMH), les groupes sanguins, les protéines sériques, les enzymes du globule rouge.

- Les marqueurs moléculaires (F, GB, NL, B, D, Dk, S, N) à l'aide des techniques de RFLP (Restricted Fragment Length Polymorphism) et de VNTR (Variable Number Tandem Repeat).

Les premiers résultats indiquent qu'une carte physique et génétique à faible résolution pourra être obtenue dans un délai de 3 ans, avec une cartographie de locus à effet important sur les caractères quantitatifs peu de temps après.

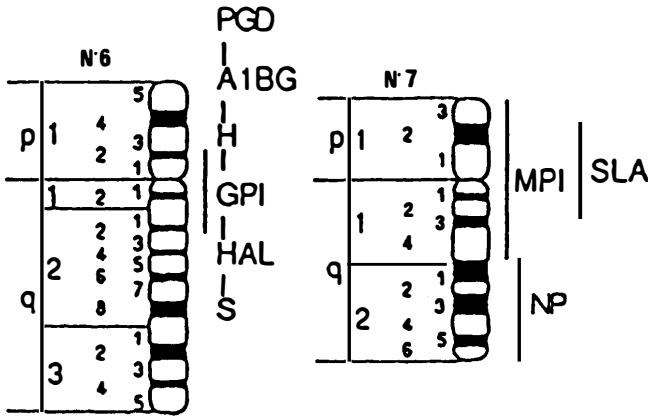


Figure 12

Exemple d'assignation et de localisation des gènes sur les chromosomes 6 et 7 chez le porc (Ollivier *et al.*, 1991 ; Gellin et Grosclaude, 1991)

Les applications sont ensuite évidentes : aide à la sélection, élimination de gènes à effets néfastes, insertion de nouveaux gènes dans nos races européennes à partir d'autres races intéressantes (par exemple, chinoises)...

3.4. Les animaux transgéniques

Les travaux de PALMITER *et al.*, (1982) qui ont réussi à implanter le gène humain de l'hormone de croissance chez la souris ont déclenché des expériences similaires chez le porc. Les premiers résultats conduisant à des animaux fragiles présentant un fort taux de mortalité, des ulcères, et surtout l'absence de reproduction, ont momentanément mis un terme à l'expérience qui pourra valablement reprendre sur des bases plus consistantes de l'identification de protéines (hormone, enzyme) qui jouent un rôle déterminant sur la maîtrise d'une fonction.

Les spécialistes de l'élevage, de la nutrition, de la thermorégulation pourront alors fournir aux "transgéniteurs" des idées sur les caractères primordiaux d'intérêt économique identifiés lors de leurs activités plus classiques, et que l'on pourrait transmettre à une nouvelle génération d'animaux.

CONCLUSION

La biologie des animaux est à la veille de progrès majeurs qui permettront la maîtrise des principales fonctions impliquées dans l'amélio-

ration de leurs performances. Ceci, grâce à une coopération entre les spécialistes des disciplines et à des recherches interdisciplinaires coordonnées par les chercheurs spécialistes de l'élevage.

Ainsi, la technologie de la viande, qui doit prendre en compte les effets du milieu sur l'animal avant l'abattage, doit avoir recours aux spécialistes de l'élevage. La nutrition a besoin de la biochimie en amont de ses activités, comme elle doit généraliser ses acquisitions toujours partielles par la modélisation effectuée par les spécialistes de l'élevage.

La génétique quantitative a besoin de prendre en compte de nouveaux critères de sélection concernant la qualité des produits, la résistance (ou l'adaptation) des animaux au milieu d'élevage intensif, au froid, au chaud, des caractères discrets, des critères d'ordre métabolique...

La génétique moléculaire a besoin d'indications précises sur le choix des caractères d'intérêt technique et/ou économiques. La biotechnologie peut être un outil permettant de neutraliser des gènes régulant des caractères indésirables, ou à fabriquer des animaux transgéniques "jetables" permettant d'étudier certaines fonctions physiologiques. Les spécialistes des réactions physiologiques de l'animal entier dans son milieu peuvent apporter leur aide à une telle entreprise, mais ils ont aussi besoin de méthodes et de résultats de toutes les autres disciplines dont la vocation est par essence orientée vers des travaux à caractère analytique.

Enfin l'éleveur, qui est le plus souvent un chef d'entreprise, a besoin des résultats de la Recherche sur l'élevage des animaux ayant un caractère suffisamment synthétique pour être applicables à la conduite des troupeaux, en vue d'élaborer des produits ayant la meilleure image aux yeux et au goût du consommateur.

REMERCIEMENTS

A mes collègues B. BONAÏTI, C. LEGAULT et L. OLLIVIER de la Station de Génétique Quantitative et Appliquée, à P. POPESCU du Laboratoire de Cytogénétique et à J. GELLIN du Laboratoire de Génétique Cellulaire pour leur aide dans la rédaction de cet article.

BIBLIOGRAPHIE

- BENGALA FREIRE (J.) *et al.*, 1990. - *Sci. Alim.*, 10, 293-307.
BOURDON (D.), AUMAÎTRE (A.), 1990. - *Anim. Feed Sci. Tech.*, 30, 175-191.
BRUFAU (J.) *et al.*, 1991. - *Anim. Feed Sci. Tech.*, 34, 193-202.
CARRÉ (B.), 1985. - Conférence Avicole SIMAVIP Paris. Cahier n° 1 WPSA 13-25.
CARRÉ (B.), BRILLOUET (J.M.), 1989. - *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 72, 463-467.
GRAHAM (H.) *et al.*, 1986. - *J. Nutr.*, 116, 242-251.
GELLIN (J.), GROSCLAUDE (F.), *et al.*, 1991. - *INRA Prod. Anim.*, 4, 97-105.
JENSEN (L.J.) *et al.*, 1957. - *Poult. Sci.*, 35, 919-921.

- LECLERCQ (B.), WHITEHEAD (C.C.), 1988. - Leanness in Domestic Birds. Genetic, metabolic and hormonal aspects. Butterworths ed. London. 401 p.
- LONGSTAFF (M.), MC NAB (J.M.), 1991. - *Brit. J. Nutr.*, 65, 199-216.
- MC NAB (J.M.), FISHER (C.), 1987. - Recent advances in Animal Nutrition in W. Haresign et D.J.A. Cole ed. 3-18 Butterworths London.
- NOBLET (J.) *et al.*, 1990. - *J. Anim. Sci.*, 68, 562-572.
- OLLIVIER (L.) *et al.*, 1991. - Compte rendu de mission à l'AFRC. Edinburgh 12-15 avril.
- OUHAYOUN (J.), 1989. - *INRA Prod. Anim.*, 2, 215-221.
- PÉREZ (J.M.), 1991. - Thèse. Université de Montpellier, 196 p.
- POPESCU (C.P.) *et al.*, 1984. - *J. Hered.*, 75, 448-452.
- REIS DE SOUZA (T.), 1992. - Thèse Université de Rennes I (sous presse).
- ROUSSELOT-PAILLEY (D.), GUY (G.), 1991. - In C.R. Séances de travail SRA Tours, 24-25 octobre. INRA ed. 153 pp.
- ROLPH (M.), 1991. - Communication personnelle.
- VERSTEGEN (M.W.A.) *et al.*, 1991. - Digestive physiology in pigs. EAAP Pub. 54, Pudoc, Wageningen, 481 p.
-